UDC 628.4.042:620.925:631.8 **DOI: 10.58407/bht.1.26.12**

Copyright (c) 2026 Natalia Bublienko, Oksana Salavor, Oksana Nychyk, Olga Togachynska
Ця робота ліцензується відповідно до Creative Commons Attribution 4.0 International License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Наталія Бублієнко, Оксана Салавор, Оксана Ничик, Ольга Тогачинська

КОМПЛЕКСНА УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ПЛОДООВОЧЕВОГО ВИРОБНИЦТВА ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТАНОВОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ

Natalia Bublienko, Oksana Salavor, Oksana Nychyk, Olga Togachynska

COMPLEX DISPOSAL OF FRUIT AND VEGETABLE WASTE USING METHANE FERMENTATION

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Дослідження метанової ферментації відходів плодоовочевого виробництва, що має три головні аспекти: ліквідація відходів (екологічний), отримання альтернативного виду палива – біогазу (біоенергетичний), отримання біостимулятора росту рослин – дигестату (відновлюване землеробство).

Методологія. Проведені дослідження метанової ферментації відходів плодоовочевого виробництва в мезофільних умовах у періодичному режимі. Для здійснення процесу використано лабораторні установки: метантенк, водяний газгольдер. Визначена інтенсивність газогенерації, якісний склад біогазу. Показники процесу бродіння визначали за стандартними методиками у дослідницькій лабораторії кафедри екології та екоменеджменту НУХТ. Досліджений стимулювальний вплив розчину дигестату на насіння райграсу.

Наукова новизна. У результаті дослідження виявлено, що відходи плодоовочевого підприємства є доступним субстратом для метанового бродіння в періодичному режимі (мезофільні умови). При цьому утворюється біогаз із високим вмістом метану, що робить його цінним альтернативним видом палива. Досліджена можливість використання розчину дигестату для біостимулювання насіння газонних трав (райграсу), що є важливим для розвитку відновлюваного землеробства.

Висновки. Метанова ферментація технологічних відходів плодоовочевого підприємства дає можливість комплексно вирішити кілька проблем: екологічних, енергетичних та аграрних.

У процесі метанової ферментації повністю ліквідується цей тип відходів. Причому утворюється біогаз із високим вмістом метану, що робить його якісним альтернативним енергоресурсом. Зафіксована значна інтенсивність газогенерації; у перерахунку на 1 кг сухих речовин плодоовочевих відходів сумарний вихід біогазу становив 320 дм^3. Вміст горючого компоненту – метану – досягав 60–62 %.

Ще один продукт метанового бродіння відходів плодоовочевого виробництва, а саме дигестат, є перспективним для біостимулювання рослин, що є сучасним напрямком відновлюваного землеробства. Біостимульоване насіння характеризувалось прискореним ростом коріння та паростків на 21–28 % та 22–31 %, відповідно. Енергія проростання підвищилась на 20,4 % порівняно з контролем.

Ключові слова: плодоовочеві відходи, метанове бродіння, біогаз, дигестат, стимуляція рослин

ABSTRACT

Purpose of the work. Research into methane fermentation of fruit and vegetable production waste, which has three main aspects: waste elimination (ecological), obtaining alternative fuel – biogas (bioenergy), and plant growth biostimulant – digestate (renewable agriculture).

Methodology. Research on methane fermentation of fruit and vegetable production waste in mesophilic conditions in a periodic mode was conducted. Laboratory installations were used: methane tank, water gasholder. The intensity of gas generation, qualitative composition of biogas were determined. Fermentation indicators were determined using standard methods in the laboratory of the Department of Ecology and Ecomanagement of the NUFT. The stimulating effect of digestate solution on ryegrass seeds was studied.

Scientific novelty. It has been found that fruit and vegetable waste is an available substrate for methane fermentation in a periodic mode (mesophilic conditions). This produces biogas with a high methane content, making it a valuable alternative fuel. The possibility of using a digestate solution for biostimulation of lawn grass seeds (ryegrass), which is important for the development of renewable agriculture, has been investigated.

Conclusions. Methane fermentation of technological waste of a fruit and vegetable enterprise makes it possible to comprehensively solve several problems: environmental, energy and agricultural.

In the process of methane fermentation, this type of waste is completely eliminated. Moreover, biogas with a high methane content is formed, which makes it a high-quality alternative energy resource. A significant intensity of gas generation was recorded; per 1 kg of dry waste, the total biogas yield was 320 dm^3. And the content of the combustible component – methane – reached 60–62 %.

Another product of methane fermentation of fruit and vegetable waste, namely digestate, is promising for plant biostimulation, which is a modern direction of renewable agriculture. Biostimulated seeds were characterized by accelerated growth of roots and shoots by 21–28 % and 22–31 %, respectively. Germination energy increased by 20.4 % compared to the control.

Key words: fruit and vegetable waste, methane fermentation, biogas, digestate, plant stimulation

Вступ

Плодоовочева галузь харчової промисловості виробляє широкий асортимент різноманітної консервованої продукції із рослинної сировини. Але підприємства такого профілю характеризуються досить значним тиском на навколишнє природне середовище, перш за все, за рахунок утворення значних обсягів виробничих відходів рослинного походження.

Так, при виробництві соку вихід томатних вичавок досягає 20–40 % до маси початкової сировини, яблучних вичавок – 24–40 %; при виготовленні овочевих консервів відходи від переробки баклажанів і кабачків становлять 10 %, перцю – 25 %, капусти – 20–25 %, моркви – 20 %, буряка – 25 %, зеленого горошку – до 80 % (у вигляді гички та стручків) (Teplitski et al., 2023, Chervotkina et al., 2024, Rajapakshe et al., 2025).

За даними (Taheri & Hosseini, 2025) виробництво й технологічна переробка фруктово-овочевої сировини посідає третє місце в світовій харчовій промисловості за загальною кількістю відходів (до 14,8 %).

Такі відходи містять пектинові речовини, целюлозу, прості вуглеводи, деякі відходи (від переробки горошку тощо) – речовини білкового походження. Причому значну частину відходів переробки рослинної сировини, а саме шкірку, вичавки, насіння, гичку тощо не використовують, а найчастіше викидають на звалища. Кількість невикористаних відходів становить понад 20 % (Nirmal et al., 2023). Це спричиняє погіршення екологічної ситуації як на локальному, так і глобальному рівнях. Потрапляння відходів переробки рослинної сировини у довкілля зумовлює забруднення ґрунтів, підземних вод, поверхневих водойм, змінює оптимальне співвідношення вмісту біогенних компонентів у ґрунтах тощо. Внаслідок розкладання відходів утворюються газоподібні компоненти, у тому числі парникові гази, що сприяє глобальному потеплінню (Bain et al., 2024, Taheri & Hosseini, 2025).

Нині в світі використовують різні підходи до утилізації відходів консервної промисловості. Це екстрагування пектину із яблучних, апельсинових, вишневих вичавок, відходів баклажанів, отримання антиоксидантів та інших біоактивних сполук (Taheri & Hosseini, 2025). Із фруктових та овочевих відходів отримують полісахаридні та інші екстракти, які надалі використовують для виготовлення емульгаторів, інкапсулюючих агентів, пребіотиків, біорозкладаної упаковки, біопестицидів тощо (Abbasi-Parizad et al., 2023, Gupta et al., 2024, Khan et al., 2024, Ozcan et al., 2024). Такі технології скорочують кількість відходів, але повністю не вирішують проблему, крім того таке виробництво є немасовим і достатньо дороговартістним.

Частину рослинних відходів переробляють на комплексні органо-мінеральні добрива (у суміші із відходами свинокомплексів), компостують для одержання біодобрива (Chervotkina et al., 2024). Але це досить розтягнутий у часі процес, який водночас потребує великих земельних ділянок для компостних куп (Bublienko et al., 2020).

Останніми роками у світі набирає обертів використання біотехнологій для утилізації відходів харчової та переробної промисловості, сільського господарства, а саме їх анаеробного метанового зброджування (ферментації). Найактивніше розвиваються біотехнології метанової ферментації відходів цукрової промисловості (жом цукрового буряка, багасса цукрової тростини), сільського господарства (солома,

пожнивні рештки, кукурудзяний силос), тваринництва (гній великої рогатої худоби, свиней, курячий послід тощо) (Boldrin et al., 2016, Şenol et al., 2020, Gómez-Quiroga et al., 2022).

Це пояснюється тим, що метанова ферментація таких відходів є джерелом утворення альтернативного джерела енергії – біогазу, що особливо важливо для України в умовах збройної агресії з боку росії, а також дигестату, що використовують як добриво для сільськогосподарських угідь (Boldrin et al., 2016, Bublienko et al., 2020, Song et al., 2021, Lu & Xu, 2021, Bumharter et al., 2023, Ngabala & Emmanuel, 2024). Також як джерело отримання біогазу увагу дослідників привертають відходи винокурень, фруктових та овочевих решток (Gebresilasie et al., 2025).

Актуальним є дослідження біотехнологічної переробки відходів плодоовочевого виробництва для отримання біогазу як альтернативного палива та дигестату як стимулятора росту рослин. Особливу актуальність має можливість посилення енергонезалежності країни в умовах російсько-української війни.

Мета роботи – дослідження метанової ферментації відходів плодоовочевого виробництва, що має три головні аспекти: ліквідація відходів (екологічний), отримання альтернативного виду палива – біогазу (біоенергетичний), отримання біостимулятора росту рослин – дигестату (відновлюване землеробство).

Завданнями роботи є аналіз стану питання щодо обсягів, характеристик та поширених способів утилізації відходів плодоовочевої промисловості, дослідження процесу метанового бродіння цих відходів, визначення енергопотенціалу відходів, дослідження стимулювальної дії дигестату на рослини.

Об'єктом дослідження в даній роботі були рослинні технологічні відходи плодоовочевого консервного заводу (Черкаська область).

Матеріали та методи дослідження

Дослідження проведені науковцями кафедри екології та екоменеджменту НУХТ у дослідницькій лабораторії.

Метанове бродіння рослинних відходів проводили у лабораторній установці із метантенка, корисним об'ємом 3 дм^3, й водяного газгольдера для збирання біогазу. Метантенк поміщали у термостат при температурі 40–42 °С, забезпечуючи мезофільний режим бродіння. Саме такі температурні значення достатні і для створення оптимальних умов для метаногенезу, і є менш енерговитратними, ніж термофільний режим. Використано анаеробний активний мул із ЮМБК (Юзефо-Миколаївський біогазовий комплекс, Вінницька область). Цей активний мул являє собою біоценоз різних груп бактерій (гідролітичних, гетероацетогенних, метаногенних).

Для прискорення метанової ферментації таких целюлозовмісних відходів спершу їх механічно подрібнили до фрагментів розміром 1–2 см. Після чого подрібнені відходи замочили (протягом 3-х діб) у водопровідній воді температурою 18–20 °С. Співвідношення рослинних відходів і води становило 1:3.

Контроль процесу метанового бродіння проводили за вмістом сухих речовин, pH, температурою, виходом біогазу, вмістом метану в біогазі. Також здійснювали розрахунок ефективності очищення за сухими речовинами (СР), виходом біогазу відносно початкового вмісту СР (Semenova, 2024).

Вихід біогазу визначали у водяному газгольдері за кількістю води, що була витіснена біогазом із газгольдера в приймальну ємність. Вміст метану і вуглекислого газу, як основних компонентів біогазу, визначали прискореним методом, пропускаючи газову суміш крізь 10 %-й розчин $NaOH$ (Semenova, 2024).

Для контролювання параметра pH був використаний pH-метр AZ-86021. Показники процесу бродіння визначали за стандартними методиками (Semenova, 2024).

Для вивчення впливу дигестату на насіння рослин використаний водний розчин зброджeної біомаси з метантенку.

Спершу отримали біологічно активний розчин із дигестату, для чого розвели його водопровідною водою (на 2 см^3 дигестату використано 10 см^3 води). Насіння райграсу обробляли біоактивним розчином 40 хвилин. Паралельно проведено контрольний

дослід із використанням водопровідної води для замочування насіння.

Після цього рівномірно розподілили оброблене насіння на тонкому шарі промитого дистильованою водою, підсушеного і просіяного піску в чашках Петрі. Попередньо чашки Петрі прокип'ятили 40 хвилин і обробили спиртом.

У кожній чашці Петрі помістили по 25 насінин райграсу. Температура пророщування 20 °С, зволоження насінин – щоденне, помірне, рівномірне. Використовували по три чашки Петрі для обробленого і необробленого насіння.

Контролювали такі показники: висота проростків та довжина коріння; розраховано також показник енергії пророщування досліджуваного насіння (SSTU 4138:2002).

Статистичне оброблення результатів досліджень здійснено з допомогою табличного процесора Microsoft Excel з використанням критерію Стьюдента (статистична достовірність з рівнем значущості $p < 0,05$) (Yakymenko & Melnychenko, 2018).

Результати дослідження та обговорення

Науковці кафедри екології та екоменеджменту Національного університету харчових технологій впродовж багатьох років досліджують екологічно ефективні та економічно привабливі способи утилізації біологічно розкладаних відходів харчової та переробної промисловості, сільського господарства, тваринництва, муніципального господарства тощо.

Попередньо оброблені відходи завантажували у лабораторний біореактор, в якому під впливом мікроорганізмів анаеробного активного мулу відбувався процес метанової ферментації в періодичному режимі.

Температура в анаеробному біореакторі становила 40–42 °С, що відповідає кінцевим показникам мезофільного режиму метанового бродіння.

Результати проведених досліджень представлені на рисунку 1.

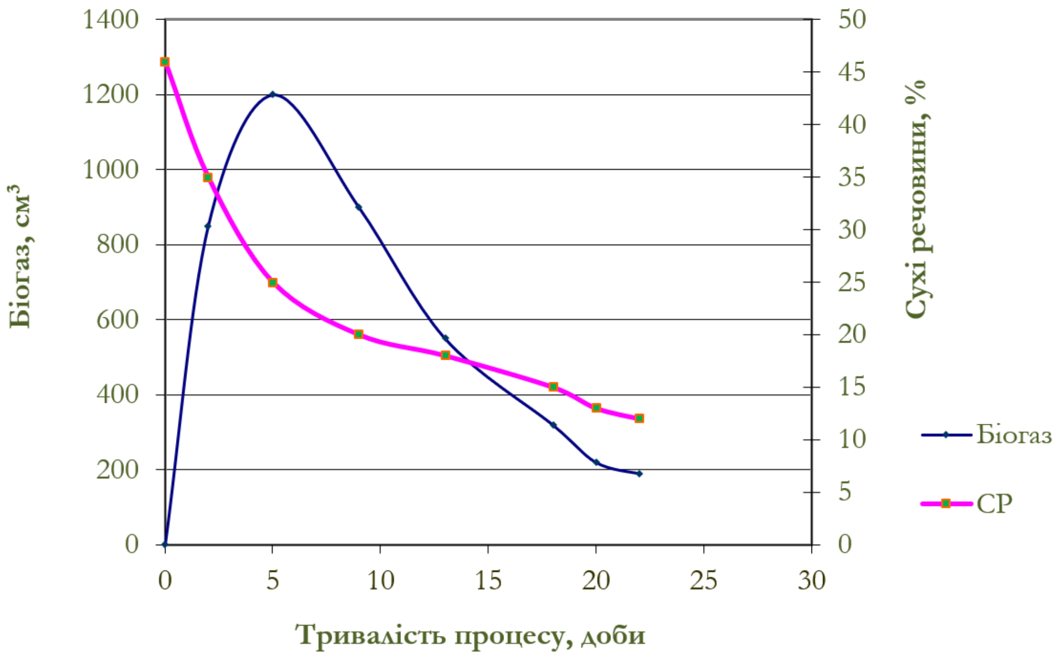

Рис. 1. Зміна основних показників у процесі метанової ферментації відходів плодоовочевого підприємства

Метанове зброджування відходів плодоовочевого виробництва здійснювали протягом 22 діб через високий вміст у субстраті важких до біологічного розкладання складових, перш за все, целюлози. Протягом усього періоду бродіння відбулось значне зменшення вмісту сухих речовин у субстраті, ефективність їх вилучення досягла 74 %.

pH зброджуваної маси змінюється протягом ферментації, зростаючи від 6,5 до 8,25 одиниць. Це характеризує оптимальний перебіг процесу, без закисання культурального середовища.

Дослідження засвідчили значну інтенсивність газогенерації, у перерахунку на 1 кг сухих речовин плодоовочевих відходів сумарний вихід біогазу становив 320 дм^3. Визначення вмісту основних компонентів у біогазі (прискореним методом) підтвердило високий вміст горючого компоненту – метану. Так, протягом усього процесу метанового зброджування вміст метану коливався від 60 до 62 %, а отже генерований біогаз може бути використаний як альтернативний енергоресурс.

На 14–22 доби інтенсивність процесу (біотрансформація сухих речовин відходів у біогаз) суттєво спадає через практично повне використання доступних для організмів анаеробного активного мулу компонентів відходів. І хоча надалі ще спостерігається незначна газогенерація, подальше здійснення процесу не буде економічно доцільним.

Крім біогазу, ще одним важливим активом метанової ферментації відходів плодоовочевої галузі є дигестат. Згідно даних ряду дослідників (Bublienko et al., 2020, Song et al., 2021, Lu & Xu, 2021) дигестат містить біологічно активні компоненти, є вільний від насіння бур’янів, термочутливих патогенів. Тому перспективним є застосування розчинів дигестату для передпосівного обробітку насіння різних культур стимулюванням його проростання.

Були проведені пошукові дослідження щодо можливості застосування дигестату як стимулятора для проростання насіння газонних трав (райграс газонний сорт Адріана). Райграс широко використовують в екологічних/агрономічних наукових дослідженнях через його швидкий ріст, високу продуктивність. Ця культура є поширеним тест-об’єктом, який активно накопичує азот, ефективно запобігає ерозії, стійкий до механічногоо впливу.

Біологічно активним розчином, отриманим при розведенні дигестату водопровідною водою, обробляли насіння райграсу 40 хв. Пророщування насіння здійснювали у чашках Петрі в оптимальних температурних умовах із постійним зволоженням.

Через дві доби щоденно здійснювали вимірювання таких параметрів: довжина коріння, висота паростків. Отримані дані представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Основні параметри проростання насіння

Тривалість процесу пророщування насіння райграсу, діб	Довжина коріння, см		Висота паростка, см	
	наявність біостимулятора	відсутність біостимулятора	наявність біостимулятора	відсутність біостимулятора
1	–	–	–	–
2	0,80	0,65	0,35	0,20
3	1,10	0,75	0,90	0,75
4	1,60	1,20	2,15	1,80
5	2,20	1,35	3,25	2,70
6	2,45	1,70	4,55	4,10
7	2,85	2,10	5,50	5,10
8	3,10	2,25	7,35	6,70

Через три доби від початку дослідження порахували кількість пророслих насінин райграсу, на основі чого розрахували енергію проростання. Останній показник характеризує «дружність» появи нормальних паростків після триденного пророщування і виражається у відсотках. Енергія проростання для біостимульованого насіння становила 95,5 %, для контрольного досліду – 76 % (проростання до 24 і 19 насінин на третю добу експерименту, відповідно).

Біостимульоване насіння характеризувалось прискореним ростом корінців та паростків на 21–28 % та 22–31 %, відповідно. Енергія проростання підвищилась на 20,4 % порівняно з контролем.

Аналогічні показники отримані при дослідженні впливу біостимуляторів із дигестату, отриманого при зброджуванні целюлозовмісних відходів цукрової промисловості (жом буряковий) (Bublienko & Semenova, 2021).

Отримані дані свідчать про позитивний стимулювальний вплив розчинів дигестату для передпосівного обробітку насіння та є перспективним для використання у сучасному землеробстві.

Висновки

Метанова ферментація технологічних відходів плодоовочевого підприємства дає можливість комплексно вирішити кілька проблем: екологічних, енергетичних та аграрних.

У процесі метанової ферментації повністю ліквідується цей тип відходів. Причому утворюється біогаз із високим вмістом метану, що робить його якісним альтернативним енергоресурсом. Зафіксована значна інтенсивність газогенерації; у перерахунку на 1 кг сухих речовин плодоовочевих відходів сумарний вихід біогазу становив 320 дм^3. Вміст горючого компоненту – метану – досягав 60 – 62 %. Отриманий біогаз можливо використовувати для отримання теплової чи електричної енергії або ж у когенераційних системах.

Ще один продукт метанового бродіння відходів плодоовочевого виробництва, а саме дигестат, є перспективним для біостимулювання рослин, що є сучасним напрямком відновлюваного землеробства. Використання таких біостимуляторів дасть змогу замінити хімічні добрива та стимулятори росту рослин на екологічні біоактивні розчини. Біостимульоване насіння характеризувалось прискореним ростом корінців та паростків на 21–28 % та 22–31 %, відповідно. Енергія проростання підвищилась на 20,4 % порівняно з контролем.

Фінансування / Funding

Co-funded by the European Union

За підтримки проєкту програми Еразмус+ Кафедра Жана Моне (101127175 – JM REW – ERASMUS-JMO-2023-HEI-TCH-RSCH) / Supported by the Erasmus+ Project Jean Monnet Chair (101127175 – JM REW – ERASMUS-JMO-2023-HEI-TCH-RSCH)

Фінансується Європейським Союзом. Однак висловлені погляди та думки належать лише авторам і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу чи Європейського виконавчого агентства з питань освіти та культури (EACEA). Ні Європейський Союз, ні EACEA не несуть за них відповідальності / Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the authors only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor nor EACEA can be held responsible for them.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Усі дані представлені безпосередньо в статті. За додатковою інформацією звертайтесь до авторів / All data are presented directly in the article. For additional information, please contact the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflict of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI technologies to collect, analyze, or interpret data

References

Abbasi-Parizad, P., Salvino, R.A., Passera, A., Follador, A.R.V., Cosentino, C., Jucker, C., Savoldelli, S., Bacenetti, J., Casati, P., & Scaglia, B. (2023). Development of a cascade production system finalized to the extraction of all-tomatine-rich fraction using the tomato cannery waste as feedstock. *Journal of Cleaner Production*, *401*, 136743. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136743

Bain, M., Soligo, D., van der Werf, P., & Parizeau, K. (2024). The limitations of an informational campaign to reduce household food waste at the community scale. *Cleaner Waste Systems*, *9*, 100167. https://doi.org/10.1016/j.clwas.2024.100167

Boldrin, A., Baral, K.R., Fitamo, T., Vazifehkhoran, A.H., Jensen, I.G., Kjærgaard, I., Lyng, K.-A., van Nguyen, Q., Skovsgaard Nielsen, L., & Triolo, J. M. (2016). Optimised biogas production from the co-digestion of sugar beet with pig slurry: Integrating energy, GHG and economic accounting. *Energy*, 112, 606–617. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.068

Bublienko, N.O., & Semenova, O.I. (2021). Biological utilization of beet pulp using methane fermentation. *Food industry*, *30*, 50–57. https://doi.org/10.24263/2225-2916-2021-30-7 (in Ukrainian)

Біблієнко Н.О., Семенова О.І. Біологічна утилізація бурякового жому з використанням метанової ферментації. *Харчова промисловість*. 2021. № 30. С. 50–57. DOI: https://doi.org/10.24263/2225-2916-2021-30-7

Bublienko, N.O., Semenova, O.I., Skydan, O.V., Tymoshchuk, T.M., & Tkachuk, V.P. (2020). Biotechnological utilization of fallen leaves. *Scientific horizons*, *2*(87), 7–14. https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-7-14 (in Ukrainian)

Бублієнко Н.О., Семенова О.І., Скидан О.В., Тимощук Т.М., Ткачук В.П. Біотехнологічна утилізація опалого листя. Наукові горизонти. 2020. № 2 (87). С. 7–14. DOI: https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-7-14

Bumharter, C., Bolonio, D., Amez, I., Martínez, M.J.G., & Ortega, M.F. (2023). New opportunities for the European Biogas industry: A review on current installation development, production potentials and yield improvements for manure and agricultural waste mixtures. *Journal of Cleaner Production*, *388*, 135867. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135867

Chervotkina, O., Prokopenko, O., & Palianychk, N. (2024). Complex use of waste from fruit and vegetable production in fertilizer production. *Scientific Bulletin of the Tavria State Agrotechnological University*, *14*(2). https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-2-18 (in Ukrainian)

Червоткіна О., Прокопенко О., Паляничка Н. Комплексне використання відходів плодоовочевого виробництва при виробництві добрив. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. 14 (2). https://doi.org/10.32782/2220-8674-2024-24-2-18

Gebresilasie, G.G., Gebreslassie, M.G., & Gebresemati M. (2025). Comparative potential of biogas production from the distillery, fruit and vegetable waste and their mixtures (digestion). *Heliyon*, *11*(2), e42068. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42068

Gómez-Quiroga, X., Aboudi, K., Álvarez-Gallego, C. J., & Romero-García, L.I. (2022). Successful and stable operation of anaerobic thermophilic co-digestion of sun-dried sugar beet pulp and cow manure under short hydraulic retention time. *Chemosphere, 293,* 133484. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133484

Gupta, R.K., Ali, E.A., Gawad, F.A.E., Daood, V.M., Sabry, H., Karunanithi, S., & Srivastav, P.P. (2024). Valorization of fruits and vegetables waste byproducts for development of sustainable food packaging applications. *Waste Management Bulletin*, *2*(4), 21–40. https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.08.005

Khan, R., Anwar, F., Ghazali, F.M., & Mahyudin, N.A. (2024). Valorization of waste: Innovative techniques for extracting bioactive compounds from fruit and vegetable peels – A comprehensive review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 97,* 103828. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2024.103828

Lu, J., & Xu, S. (2021). Posttreatment of food waste digestate towards land application. *Journal of Cleaner Production*, *303*, 127033. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127033

Ngabala, F.J., & Emmanuel, J.K. (2024). Potential substrates for biogas production through anaerobic digestion-an alternative energy source. *Heliyon*, *10*(23), e40632. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40632

Nirmal, N.P., Khanashyam, A.C., Mundanat, A.S., Shah, K., Babu, K.S., Thorakkattu, P., Al-Asmari, F., & Pandiselvam, R. (2023). Valorization of fruit waste for bioactive compounds and their applications in the food industry. *Foods*, *12*(3), 556. https://doi.org/10.3390/foods12030556

Ozcan, B.E., Tetik, N., & Aloglu, H.S. (2024). Polysaccharides from fruit and vegetable wastes and their food applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *276*(2), 134007. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134007

Rajapakshe, P., Rathnasinghe, N., Guruge, K., Nilmini, R., Jayasinghe, R., Karunaratne, V., Wijesena, R., & Priyadarshana, G. (2025). Strategies to minimize post-harvest waste of fruits and vegetables: Current solutions and future perspectives. *Journal of Future Foods,* *6*(3), 400–412. https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2025.04.013

Seeds of agricultural crops. Methods of determining quality. SSTU 4138:2002. [Valid from 28.12.2002]; State Standard of Ukraine: Kyiv, 2003; p 170. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91465 (in Ukrainian)

Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. ДСТУ 4138:2002. [Чинний від 28.12.2002 р.]; Держспоживстандарт України: Київ, 2003; с 170. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91465

Semenova, O.I. (2024). Environmental technologies and equipment : Laboratory Workshop. Kyiv. NUFT https://elibrary.nuft.edu.ua/library/DocDownloadForm?docid=412829 (in Ukrainian)

Семенова О.І. Природоохоронні технології та обладнання : Лабораторний практикум. Київ: НУХТ, 2024. 29. https://elibrary.nuft.edu.ua/library/DocDownloadForm?docid=412829

Şenol, H., Açıkel, Ü., Demir, S., & Oda, V. (2020). Anaerobic digestion of cattle manure, corn silage and sugar beet pulp mixtures after thermal pretreatment and kinetic modeling study. *Fuel*, *263*, 116651. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116651

Song, S., Lim, J., Lee, J., Cheong, J. Ch., Hoy, Sh.H., Hu, Q., Tan, J. K. N., Chiam, Zh., Arora, Sr., Lum, Ti.Q.H., Lim, E.Y., Wang, Ch.-Hw., Tan, H. T.W., & Tong, Y. W. (2021). Foodwaste anaerobic digestate as a fertilizer : The agronomic properties of untreated digestate and biochar-filtered digestate residue. *Waste Management*, *136*, 143 – 152. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.10.011

Taheri, S., & Hosseini, S.S. (2025). Waste not, want not: Comprehensive valorization of fruit and vegetable waste from single-product recovery to zero-waste strategies. *Cleaner Waste Systems*, *11*, 100300. https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100300

Teplitski, V., Touchman, J., Almenar, E., Evanega, S., Aust, D., Yoshinaka, M., & Estes, V. (2023). Bio-based solutions for reducing loss and waste of fresh fruits and vegetables: an industry perspective. *Current Opinion in Biotechnology*, *83*, 102971. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2023.102971

Yakymenko, I.L., & Melnychenko, O.P. (2018). Statistical processing in ecology. Kyiv. https://elibrary.nuft.edu.ua/library/DocDownloadForm?docid=369919 (in Ukrainian)

Якименко І.Л., Мельниченко О.П. Статистична обробка в екології. Київ: НУХТ, 2018. 53. https://elibrary.nuft.edu.ua/library/DocDownloadForm?docid=369919

Received: 06.01.2026. **Accepted:** 18.02.2026. **Published:** 06.04.2026.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Бублієнко Н., Салавор О., Ничик О., Тогачинська О. Комплексна утилізація відходів плодоовочевого виробництва із використанням метанової ферментації. *Biota. Human. Technology.* 2026. № 1. С. 141-149. DOI: https://doi.org/10.58407/bht.1.26.12

Cite this article in APA style as:

Bublienko, N., Salavor, O., Nychyk, O., & Togachynska, O. (2026). Kompleksna utylizatsiia vidkhodiv plodoovochevoho vyrobnytstva iz vykorystanniam metanovoi fermentatsii [Complex disposal of fruit and vegetable waste using methane fermentation]. *Biota. Human. Technology,* (1), 141-149. https://doi.org/10.58407/bht.1.26.12 (in Ukrainian)

Information about the authors:

Bublienko N. [*in Ukrainian:* **Бублієнко Н.] [1],** Assoc. Prof., Ph.D. in Tech. Sc., email: 3110nb@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0299-4646 *Scopus–AuthorID*: 55683913900
Department of ecology and eco-management, National University of Food Technologies
68 Volodymyrska Street, Kyiv, 01033, Ukraine

Salavor O. [*in Ukrainian:* **Салавор О.] [2]**, Assoc. Prof., Ph.D. in Tech. Sc., email: oksanasalavor7@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5784-3127 *Scopus–Author ID*: 57219904957
Department of ecology and eco-management, National University of Food Technologies
68 Volodymyrska Street, Kyiv, 01033, Ukraine

Nychyk O. [*in Ukrainian:* **Ничик О.] [3]**, Assoc. Prof., Ph.D. in Tech. Sc., email: oksananychyk0710@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4679-8607 *Scopus–AuthorID*: 57219905601
Department of ecology and eco-management, National University of Food Technologies
68 Volodymyrska Street, Kyiv, 01033, Ukraine

Togachynska O. [*in Ukrainian:* Тогачинська О.**] [4]**, Assoc. Prof., Ph.D. in Agricul. Sc., email: tytyn29@ukr.net
ORCID: 0000-0002-6672-6539
Department of ecology and eco-management, National University of Food Technologies
68 Volodymyrska Street, Kyiv, 01033, Ukraine

[1] Study design, data collection, statistical analysis, manuscript preparation.
[2] Data collection, manuscript preparation.
[3] Statistical analysis, manuscript preparation.
[4] Data collection, manuscript preparation.